

**1** [3 puntos] Responda razonadamente a las siguientes cuestiones sobre el sistema de E/S:

a) Explique en qué consisten las llamadas instrucciones de E/S. Indique para qué se usan en el caso de las técnicas de a) E/S programada y b) E/S mediante interrupciones.

b) Indique de qué orden de magnitud es el tiempo que tarda una operación de una unidad de disco duro, HDD, con un tiempo medio de acceso de 4,5 ms y una velocidad de transferencia de  $20 \cdot 10^6$  bytes/s.

c) Indique cómo afectan las diferentes técnicas de E/S –programada o directa, mediante interrupciones y por DMA– a las siguientes magnitudes relativas a las operaciones de E/S:

c.1) duración total de las operaciones de E/S

c.2) uso de CPU necesario para las operaciones de E/S

**2** [7 puntos] Sea un procesador de 32 bits y capaz de ejecutar 1.000 MIPS. Su secuencia de reconocimiento de interrupción (SRI) dura 10 ns. Este procesador se quiere utilizar para fabricar un router de Ethernet al que se le quieren conectar varios controladores de Ethernet con las siguientes características:

- Bloques de tamaño variable entre 64 bytes y 1.536 bytes.
- Velocidad de transferencia:  $10^8$  bits/s.
- Buffer: un registro de datos de 32 bits.

a) Calcule cuántos controladores de Ethernet pueden operar en paralelo si operan mediante interrupciones sabiendo que sus rutinas de tratamiento de interrupciones (RTI) ejecutan 50 instrucciones.

b) Justifique qué tamaño debería tener el buffer de los módulos de E/S para que pudieran operar 16 unidades del periférico simultáneamente. Suponga que sus correspondientes RTIs ejecutan 60 instrucciones cada una.

c) Calcule el número máximo de operaciones de entrada/salida por segundo que pueden realizar los 16 controladores Ethernet con el nuevo tamaño de buffer. Para ello suponga:

- Tamaño de bloque: 64 bytes.
- La rutina de programación de una operación de E/S ejecuta 100 instrucciones.
- La rutina de fin de operación ejecuta 50 instrucciones.
- La RTI ejecuta 60 instrucciones.

d) Con el fin de registrar las operaciones de Ethernet, se conecta una unidad de disco duro con las siguientes características:

- Velocidad de transferencia:  $20 \cdot 10^6$  bytes/s.
- Buffer: 128 bits (4 palabras de 32 bits).

Este computador dispone de un sistema de interrupciones de 3 niveles de prioridad (Alto, Medio y Bajo) que permite anidamiento e inhibición selectiva y realiza la identificación mediante vectorización. Justifique qué nivel asignaría a cada uno de los periféricos.

e) Seguidamente se decide operar con el disco duro mediante acceso directo a memoria (DMA), que funciona de la manera habitual dado el tamaño de su buffer. Calcule el número máximo de discos que podría operar simultáneamente con los 16 controladores Ethernet suponiendo que:

- El protocolo de concesión y liberación de los buses dura 4 ns.
- Cada ciclo de acceso a memoria tiene una duración de 2 ns.

## SOLUCIÓN

a) Son unas instrucciones especiales que suministra la arquitectura del procesador para leer y escribir en los registros de los módulos de E/S (no todas las arquitecturas las proveen y utilizan en su lugar las mismas instrucciones que para la lectura y escritura en memoria, LD/ST o MOVE). Se emplean para programar las operaciones a través de escrituras en el Registro de Control del periférico –aquí en todas las técnicas de E/S–, o para determinar su estado de funcionamiento, leyendo del correspondiente registro para tal fin, Reg. de Estado.

También en el caso de la E/S programada o directa y de las interrupciones se emplean para leer o escribir de/en los registros de datos correspondientes. En la primera de estas técnicas se usan también en la fase de

sincronización, “muestreando” el Reg. de Estado hasta que devuelva el valor que indica que hay un nuevo buffer disponible.

**b)** El tiempo de las operaciones de E/S vendrá determinado fundamentalmente por la actividad del periférico, y de éste, las componentes fundamentales en el caso de una unidad de HDD serán el tiempo de acceso –en nuestro caso, 4,5 ms– y, en menor medida, lo que solemos llamar tiempo de transferencia, i.e., el tiempo que tarda en transferir el bloque a la velocidad del periférico. El tiempo de transferencia para un tamaño de bloque medio, habitualmente, entre 512 y 4.096 bytes, sería entre  $12,5 \mu$  a  $100 \mu$  –este último valor en el caso de bloques de 4KB–. Resulta, por tanto, un tiempo de operación del orden de menos 5 ms. El resto de tiempos implicados en la operaciones resultan despreciables con respecto a estos dos.

**c)**

**c.1)** La duración total de las operaciones de E/S viene determinada, fundamentalmente, por tiempos asociados al propio periférico y no a la técnica de E/S empleada. Sólo en caso de uso de búfferes de tamaño muy grande, del orden de MB, podría añadir un tiempo ligeramente significativo debido a la actividad de la CPU –última/primer interrupción o DMA.

**c.2)** El uso de CPU para la operación de E/S sí que depende de la técnica empleada, yendo desde la programada o directa –en que la CPU está dedicada a la operación a tiempo completo–, hasta el DMA –donde sólo pierde de ejecutar, según el supuesto que hemos hecho en clase, el tiempo correspondientes a los DMAs–, y pasando por las interrupciones –en las que se invierte el tiempo de CPU que corresponde a la ejecución de las interrupciones–. En todos los casos, siempre la CPU se encarga de la inicialización y terminación de las operaciones.

## SOLUCIÓN

**a)** Se calcula la capacidad de proceso que requiere el tratamiento de las interrupciones de un controlador Ethernet a partir de su frecuencia de petición:

$$Frec_{Int} = \frac{v_{transf}}{bits/Int} = \frac{10^8 \text{ bits/s}}{32 \text{ bits/Int}} = 3.125.000 \text{ Int/s}$$

Tratar cada interrupción supone realizar la SRI y ejecutar la RTI. Es decir, 10 ns y 50 instrucciones lo que equivale a 60 instrucciones en un procesador de 1.000 MIPS.

$$Consumo_{CPU} = 3.125.000 \text{ Int/s} \times 60 \text{ instrucciones/Int} = 187'5 \cdot 10^6 \text{ instrucciones/s}$$

Se necesita una capacidad de cómputo de 187'5 MIPS para atender las interrupciones de un controlador Ethernet. Por lo tanto, puesto que  $1.000 \text{ MIPS} / 187'5 \text{ MIPS} = 5'33$ , podrán operar en paralelo un máximo de 5 unidades con este procesador.

**b)** Para que puedan operar 16 controladores cada uno debería consumir como mucho 62'5 MIPS, es decir, exactamente la tercera parte de lo actual. Para reducir la frecuencia de interrupciones a la tercera parte bastaría con triplicar el tamaño de los registros de datos. Sin embargo, como las RTIs ejecutan en este caso 10 instrucciones más, hay que reducir la frecuencia de interrupciones aún más.

Por lo tanto en lugar de triplicar, que no sería suficiente, se cuadruplica el tamaño del registro de datos y se calcula la capacidad de proceso necesaria:

$$Frec_{Int} = \frac{v_{transf}}{bits/Int} = \frac{10^8 \text{ bits/s}}{128 \text{ bits/Int}} = 781.250 \text{ Int/s}$$

$$Consumo_{CPU} = 781.250 \text{ Int/s} \times (60 + 10) \text{ instrucciones/Int} = 54'6875 \cdot 10^6 \text{ instrucciones/s}$$

Con unos registros de datos de 128 bits, podrían operar 16 controladores Ethernet, ya que su consumo total sería  $54'6875 \text{ MIPS} \times 16 = 875 \text{ MIPS}$ , de los 1.000 MIPS disponibles.

**c)** Se calcula el tiempo de una operación de Ethernet para el tamaño mínimo de bloque:

$$T_{Eth} = T_{prog} + T_{tran} + T_{última-RTI} = 100 \text{ ns} + \frac{64 \text{ B} \cdot 8 \text{ b/B}}{10^8 \text{ b/s}} + (10 + 60 + 50) \text{ ns} = 5.340 \text{ ns}$$

De modo que un controlador Ethernet podrá realizar:

$$\text{Operaciones por segundo} = \frac{10^9 \text{ ns/s}}{5.340 \text{ ns}} = 187.265 \text{ operaciones/s}$$

Y los 16 simultáneamente:

$$\text{Operaciones por segundo} = 187.265 \text{ operaciones/s} \times 16 = 2.996.240 \text{ operaciones/s}$$

**d)** Se calcula la frecuencia de petición de interrupciones del disco duro.

$$\text{Frec}_{Int} = \frac{v_{transf}}{\text{bytes}/Int} = \frac{20 \cdot 10^6 \text{ bytes/s} \cdot 8 \text{ bits/byte}}{128 \text{ bits}/Int} = 1'25 \cdot 10^6 \text{ Int/s}$$

El disco duro deberá tener mayor prioridad que los controladores de Ethernet con el nuevo buffer, puesto que solicita interrupciones con mayor frecuencia. Se podría conectar a la línea de prioridad Media y los 16 controladores de Ethernet a la de prioridad Baja.

**e)** La capacidad de proceso que requieren los 16 controladores de Ethernet es de 875 MIPS, según se calculó en el apartado b)

Por lo tanto, quedan 125 MIPS para operar los discos duros mediante DMA. La atención de las peticiones de interrupción que, en este caso, notifican el fin de las operaciones pueden ser postergadas pero no los robos de ciclos. Se calcula, cuánto tiempo se detiene al procesador por cada robo de ciclo:

$$\text{Tiempo}_{DMA} = 4 \text{ ns} + \frac{128 \text{ bits}}{32 \text{ bits/ciclo}} \times 2 \text{ ns} = 12 \text{ ns}$$

Es decir cada ráfaga detiene al procesador durante el tiempo equivalente a 12 instrucciones. Como la frecuencia de petición de robos de ciclo es igual a la frecuencia de petición de interrupciones del apartado d), cada disco duro resta al procesador  $1'25 \cdot 10^6 \times 12 \text{ ns} = 15 \text{ MIPS}$  y por lo tanto podrían operar  $125 \text{ MIPS} / 15 \text{ MIPS} = 8$  discos duros.